



自律的ネットワーク運用のための管理知識の利用手法に関する研究

著者	谷村 優介
号	23
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	情博第652号
URL	http://hdl.handle.net/10097/00122979

氏名（本籍地）	たにむら ゆうすけ 谷村 優介
学 位 の 種 類	博 士（情報科学）
学 位 記 番 号	情 博 第 6 5 2 号
学位授与年月日	平成30年 3月27日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科（博士課程）情報基礎科学専攻
学位論文題目	自律的ネットワーク運用のための管理知識の利用手法に関する研究
論文審査委員	（主査）東北大学教 授 木下 哲男 東北大学教 授 鈴木 陽一 東北大学教 授 篠原 歩 東北大学准教授 北形 元

論 文 内 容 の 要 旨

第1章 序論

ネットワーク管理者の支援に関する取り組みの一つとして、人間の管理者が経験的に得た知見を管理知識としてネットワーク管理システム（Network Management System: NMS）に与えることで、より知的な管理支援機能の実現とネットワーク管理の自律化を目指す、知識型ネットワーク管理システム（Knowledge-based NMS: KNMS）に関する取り組みが行われている。KNMSは管理知識に基づいて能動的にネットワークシステムの運用状態を分析し、運用方針を導出・適用するなど、自律的にネットワークシステムの安定状態を維持するためにはたらくことで管理者負担を軽減すること、そして管理知識や経験の不十分な初級管理者の管理スキルを補うことで、管理業務への参加を促進することを目的としている。しかし、このようなKNMSが有効に機能するためには、管理対象とするネットワークシステムのハードウェア・ソフトウェア構成に適した管理知識が必要不可欠である。ネットワークシステムの構成が変化した場合には、構成の変化に合わせた新たな管理知識の追加や既存の管理知識に修正が必要になるが、知識ベースの更新は容易な作業では無い。よって、これまでのKNMSに関する取り組みでは、知識ベースの更新が頻繁に発生しないネットワークシステム、すなわち、構成の変化しないネットワークシステム、あるいは、どのように構成が変化するかを事前に把握可能なネットワークシステムへの適用を前提としており、ネットワーク運用の自律化を目指すKNMSの適用範囲は限定的な領域に留まっている。

本研究は今後のネットワーク管理運用技術のさらなる進展のため、KNMSの自律性を司る管理知識の利活用に関する課題を解決することで、より広い範囲に適用可能なKNMS、すなわち、変動するネットワークシステムに対しても適用可能なKNMSの実現を目指すものである。

第2章 知識型ネットワーク管理システムの現状と課題

自律的なネットワーク運用の実現に向けたKNMSに関する取り組みのうち、本研究では特に、ICTサービスの運用フェーズにおける管理者の主なタスクである、自律的な障害管理と自律的な性能管理に関する取り組みに焦点を当てる。

自律的な障害管理に関する既存のKNMSでは、熟練した管理者が障害解決を行う際の考え方や作業の手続きを、ルールや事例といった形式で知識ベースに蓄積する。ゆえに、KNMSが十分な自律性を発揮し、熟練した管理者と同様にふるまうためには、知識ベース内の管理知識の整合性がとれていることが前提となる。運用中のネットワークシステムの構成が変化した場合、新たな管理知識の追加や、既存の管理知識の修正を行う必要があるが、この作業に際して管理者は知識ベース内の知識構成を熟知している必要がある。サービス構築後に構成が変化しないネットワークシステムであれば、サービス構築時に整備した知識ベースを、サービス終了まで大きな修正を加えることなく活用し続けることができるが、変動するネットワークシステムにおいては、構成が変化する度に知識ベースの更新を行う必要があるため、知識ベースの更新にかかる作業負担や心的負担は無視できない。よって、「(P1) 知識ベース内の知識構成を熟知していなければ、新た

な管理知識の追加や変更が困難」という課題は、自律的な障害管理のための KNMS の実現に向けて解決する必要がある。

ネットワークシステムの性能管理に関する管理者の主なタスクは、変動し続けるサービス利用者の需要に合わせて、サービスに与える計算資源の量を調整したり、サービスを構成するソフトウェアの設定を変更したりすることである。ゆえに、自律的な性能管理のとりくみでは、変動するネットワークシステムの運用状態を的確に見極める手段を与えることが重要である。多くの KNMS では、ベンチマークや理論解析などにより事前にネットワークシステムの動作特性を取得しておき、動作特性に基づいて運用中のシステムの状態を推測する方法がとられている。しかし、実際のネットワークシステムの運用においては、高負荷時のシステムが非線形的な動態をもつことが知られており、ネットワークシステムの動作特性、特に高負荷時のシステムのふるまいは、実際にシステムに大きな負荷を与え、過負荷状態を引き起こしてみなければ知り得ない情報である。ゆえに、変動するネットワークシステムにおいては、構成が変化する度にシステムの動作特性を計測し直す必要があるが、これは実運用上困難であり、「(P2) 動作特性に関する事前知識がなければ、ネットワークシステムの運用状態を把握することは困難」という課題は、自律的な性能管理のための KNMS の実現に向けて解決する必要がある。

第3章 知識型ネットワーク管理システムによる自律的な障害管理

第3章「知識型ネットワーク管理システムによる自律的な障害管理」では、自律的な障害管理の実現を目指す KNMS に関する課題である (P1) の解決を目指し、「(S1) モジュール化に基づくサービス指向型の知識管理法」を提案する。図1に、本提案に基づく KNMS の概要を示す。本提案では、管理知識をモジュール化し、モジュールの集合として知識ベースを表現する。これにより、新たに管理知識を追加・変更する場合に、知識ベース全体の知識構成を把握していなくても、モジュール単位での操作により、システム構成の変化の原因となった ICT サービスに着目した、部分的な知識ベースの更新を容易に行うことを可能とする。また、KNMS のモジュール化に際し、エージェントのもつ自律性および社会性が本提案の実現に有用であると考え、本提案ではマルチエージェント型 KNMS に関する先行研究 (Active Information Resource based NMS: AIR-NMS) を拡張する。

さらに、実際のネットワークシステムでは、その構成を機能要素の重複無くそれぞれ独立したサービスとして切り分けることが困難となりうることをふまえ、サービス間で機能要素の重複を許容しつつも、知識の整合性確認に要する管理者負担が小さく抑えることができるというモジュール化のメリットを両立するため、必要に応じてモジュール間で管理知識の連携を促す、Facilitator-Agent を導入する。Facilitator-Agent はモジュール内に存在する管理知識のメタデータを収集する機能とモジュール間の管理知識の連携を検証する機能をもつ。サービス間の依存関係に起因する障害が発生した場合には、Facilitator-Agent によって事前に管理知識の連携を検証した上で、問題が無いと判断された場合のみ、モジュール間で管理知識を連携させることで、依存関係のあるサービスに起因する障害解決タスクの完遂を可能とする。

本提案の有効性を検証するため試作システムを設計・実装し、実験を行った。提案を適用したシステム (提案システム) と適用しないシステム (既存システム) を用いて実験を行い、実験結果の比較を行った。実験では障害診断の実行、および、管理知識の追加に関するシミュレーションにより知識の整合性管理に伴う管理者負担の比較を行った。障害診断の実行に関する実験では、サービス間の依存関係に起因する障害であっても、提案システムでは Facilitator-Agent を介してモジュール間で適切に管理知識を連携させ、正しい障害原因を特定し、対策案を導出できることを確認した。さらに、診断実行時のエージェント間メッセージ数の比較では、既存システムと比較して提案システムでは大きくメッセージ数が減少することを確認し、モジュール化の効果を示した。また、管理知識の追加に関するシミュレーション実験では、管理者負担を新たな管理知識を追加するにあたって整合性を確認し無ければならない管理知識の個数として表現し、提案システムと既存システムでその数を比較した。図2に示すシミュレーション結果より、提案システムではモジュール化の効果により既存システムと比較して大きく管理者負担が抑制されていることを確認した。以上の結果より、本提案が課題 (P1) を解決可能であることを示し、本提案に基づく KNMS は変動するネットワークシステムにおいても、自律的な障害管理の実現に貢献可能であることを示した。

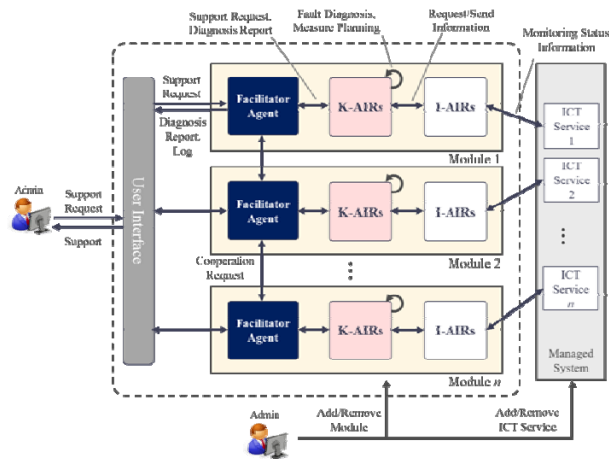


図 1：提案に基づくKNMSの概要

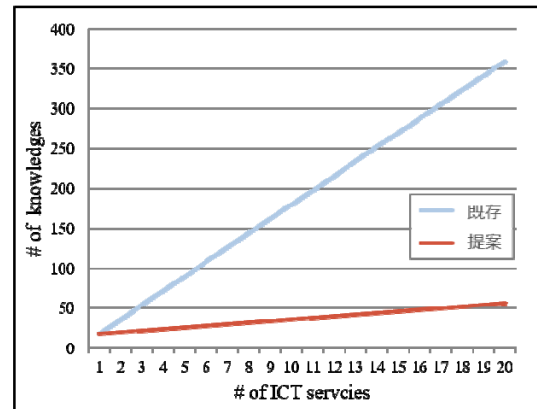


図 2：知識の整合性管理に伴う管理者負担の比較

第 4 章 知識型ネットワーク管理システムによる自律的な性能管理

第 4 章では「知識型ネットワーク管理システムによる自律的な性能管理」では、自律的な性能管理の実現を目指す KNMS に関する課題である (P2) の解決を目指し、「(S2) 巨視的な観点に基づくネットワークシステムの内部状態の観測法」を提案する。本提案では、巨視的な観点からのネットワークシステムの挙動、すなわち、ネットワークシステム全体としての挙動を分析することで、システムの詳細な動作特性に依存せずにネットワークシステムの運用状態を捉えるための新しい観測手法について検討する。具体的には、ネットワークシステムの巨視的なふるまいを表す「活動度」に含まれるゆらぎに着目し、ネットワークシステムの動作モデルを用いたゆらぎ特性の理論解析に基づいて、「活動度のゆらぎの分散」を新しい観測指標として提案する。本指標は、ネットワークシステムの処理能力の低落が顕在化するのに先立って、指標の観測値が急増するという性質をもつ。さらに、本指標は特定の動作条件やシステム環境に依存しない、簡便な方法によって観測可能であるという利点もある。そこで、本指標の急激な増大が観測されたときに種々の対策操作を施すことで、システムが過負荷状態に遷移する前に、その発生を回避することが可能となり、サービスの安定的な運用が実現される。

ネットワークシステムの動作モデルを用いたゆらぎ特性の理論解析より得た提案指標の特性を検証するため、実験用ネットワークシステムを構築し、検証実験を行った。実験では、ネットワークシステムとして Web サービスを使用し、その活動度のゆらぎの分散の時間的な推移を観測するため、サービスに負荷を与えながら、活動度として単位時間あたりに処理されるリクエスト量を表す **transfer rate** を計測し、ゆらぎの分散を算出した。提案指標の特性の検証のため、正常状態、正常状態から過負荷状態への遷移、過負荷状態から正常状態への復帰に関する 3 通りの実験を行った。図 3 に正常状態から過負荷状態への遷移に関する実験結果を示す。負荷の増大によって、およそ 2100s 付近で **transfer rate** が急激に 0 付近まで低下する現象が発生したが、これ先立って **transfer rate** のゆらぎの分散が増大傾向にあることが確認できる。これは提案に示すとおり結果であり、さらに、他の 2 通りの実験においても活動度のゆらぎの分散の特性に関して理論解析に示すとおり結果が得られた。以上の結果より、ネットワークシステムの巨視的な動作状態のゆらぎに着目して定式化した提案指標を、サービスの過負荷状態の予兆を検出するための指標として使用可能であることを確認した。

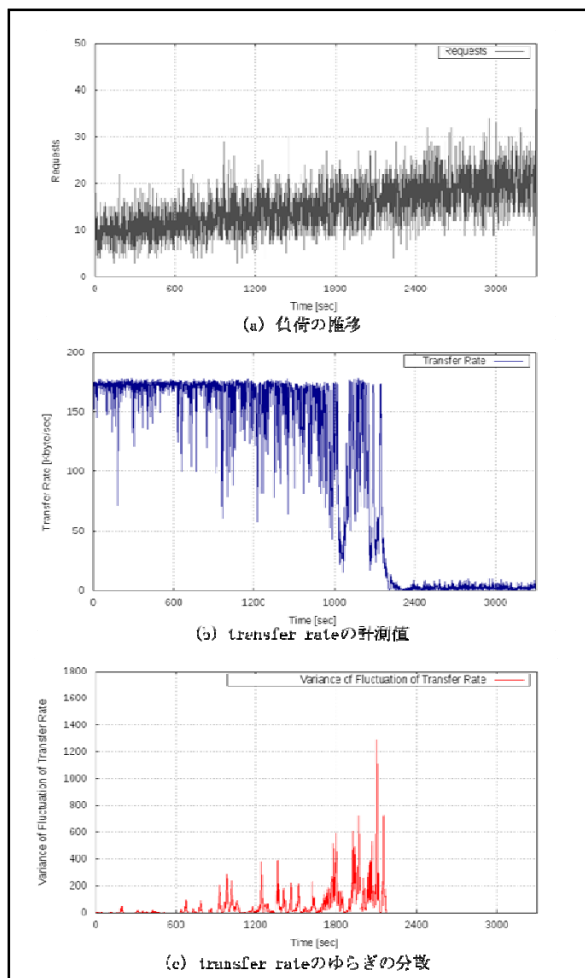


図 3：提案指標の特性の検証

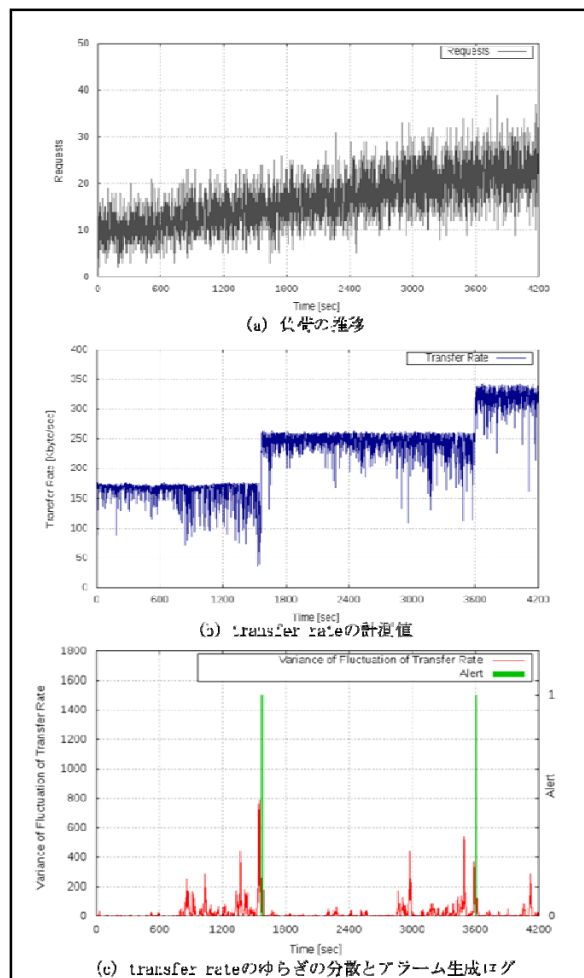


図 4：提案指標の適用可能性の検証

次に、実際のネットワークシステムにおける提案指標の適用可能性を確認するために、提案指標に基づいてネットワークシステムの運用状態を捉え、サービスの制御が可能であるかを検証する実験を行った。図 4 に実験結果を示す。実験結果より提案指標によって過負荷状態の予兆を検出するアラームを的確に生成したことが確認できる。アラームに基づいて計算資源を追加することで、負荷の増大に対応しながら安定的にサービスを運用できたことが分かる。さらに、計算資源の追加によってシステムの動作特性が変化した後、提案指標に基づく管理知識は再調整を施すこと無く的確に運用状態を捕捉可能であることが確認できる。以上の結果より、本提案が課題 (P2) を解決可能であることを示し、本提案に基づく KNMS は変動するネットワークシステムにおいても、自律的な性能管理の実現に貢献可能であることを示した。

第 5 章 結論

本研究ではネットワーク管理者の人材不足、そして今後の ICT 技術のさらなる普及と進展に向けて、KNMS によるネットワークシステムの自律的な運用に焦点を当てた。より実用的な KNMS の実現に向け、管理知識の利活用に関して課題があると考え、この課題の解決を図った。具体的には、知識のモジュール化を導入したサービス指向型の知識管理手法、そして、より汎用的な管理知識の実現に向けたネットワークシステムの運用状態の観測法を提案した。

以上、本論文は管理知識の利活用に関する課題を解決することで KNMS の適用範囲を広げ、自律的なネットワークシステムの運用管理の実現に係る新しい手法を提案したものであり、ネットワーク管理技術の発展に寄与するものである。

論文審査結果の要旨

ネットワークシステム運用管理とその支援において、人間の熟練管理者が持つ経験的・専門的な知識をネットワーク管理システムに付与してネットワーク運用管理の自動化や自律化を目指す知識型ネットワーク管理システムの実現が期待されている。しかし、当該システムに関する現下の研究開発では、必要となる種々の管理知識の獲得・表現や利用方法に関して多くの課題が残されており、当該システムの適用範囲も限定的なレベルに留まっている。そこで著者は、より実用性の高い自律的な運用管理の実現に向けて、知識型ネットワーク管理システムのための管理知識の利活用手法について詳細に検討した。本論文は、その成果をまとめたもので、全編5章から成る。

第1章は序論である。

第2章では、知識型ネットワーク管理システムに係る従来の取り組み、特に、自律的な障害管理や性能管理などの運用管理タスクに関する取り組みに注目し、管理知識の利活用手法に係る課題を分析・整理している。

第3章では、障害管理タスクの自律化に焦点を当て、熟練管理者の専門知識の蓄積・利用を支える知識ベースの構築法について検討し、知識のモジュール化を導入したサービス指向型の知識管理手法を提案している。すなわち、モジュール相互間での管理知識の連携を制御するエージェントを利用して、用途・目的の異なる知識の効率的な管理と利用を実現している。更に、提案手法を適用した知識型ネットワーク管理システムのプロトタイプシステムを試作し、これを用いた評価実験、及び、シミュレーション実験を通して提案手法の有効性を確認している。この成果は、自律的な障害管理における管理知識の新しい利活用手法として評価できる。また、本プロトタイプシステムは、エージェント型ネットワーク管理システムの先導的な設計事例としても有用である。

第4章では、性能管理タスクの自律化に焦点を当て、ネットワークシステムの全体的な運用状態を把握し、この結果を運用管理タスクに反映させる新しい手法を提案している。本手法の特徴は、ネットワークシステムの動作特性に関する専門的な知見を活用する点にある。すなわち、ネットワークシステムの理論的な解析によって得られるシステム動作特性に関する知識を利用することにより、システム動作特性の観測値に付随するゆらぎの変動特性から、突発的に発生するシステム性能の劣化などの変化を予測する手法を提案している。そして、クラウド環境などを想定した実験用ネットワークシステムによる評価実験を通して、システムの利用要求や稼働状況の変動に起因してシステム性能の急激な変化が発生する前にこれを検知し、引き続きシステム調整操作を自律的に発動することにより、システム性能劣化が回避できることを実証した。この成果は、ネットワークシステムにおける自律的な性能管理の実現に向けた独創的な手法として評価できる。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、自律的なネットワーク運用管理に向けて知識型ネットワーク管理システムの実現に係る新しい手法を提案したもので、ネットワークシステム運用管理技術、ならびに、情報基礎科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は、博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。